

## 脂質二分子膜トランジスタの構築に関する研究

著者	大堀 健
雑誌名	東北大学電通談話会記録
巻	87
号	1
ページ	192-193
発行年	2018-08
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/00123498">http://hdl.handle.net/10097/00123498</a>

修士学位論文要約（平成30年 3 月）

# 脂質二分子膜トランジスタの構築に関する研究

大堀 健

指導教員：平野 愛弓

A Study on Construction of Lipid Bilayer-Based Transistors

Takeshi Ohori

Supervisor: Ayumi Hirano-Iwata

Bilayer lipid membrane (BLM) is the basic constituent of the cell membrane and it is a self-assembled structure of phospholipid molecules. The characteristic feature of BLMs is that they have high resistance (over 100 GΩ) in spite of their nanometer-scale thickness. Nanometer-thick BLMs with super high resistance will have more potential as a functional layer for novel biodevices. In this thesis, I aim to construct another platform for investigating fundamental properties of BLMs, which can apply electric fields in multiple directions. I fabricated the chips with built-in electrodes and investigated BLM formation in the chips.

## 1. はじめに

脂質二分子膜とは細胞を覆う膜であり、厚さ数ナノメートルながら非常に高い絶縁性を持つことが知られている。この特徴から脂質二分子膜は新しいナノ絶縁膜等の、デバイス材料としての応用が期待されている。応用への課題は形成した脂質二分子膜の不安定性であるが先行研究では半導体微細加工技術によって微細孔を有するチップを作製し、それを支持体とすることで安定な膜形成技術を開発している<sup>[1]</sup>。先行研究ではこのチップを使用して形成した脂質膜の垂直方向に電極を配置し、その特性を評価するのが一般的だったが、本研究ではこれに加えて支持体チップ内に電極を内蔵させることで脂質膜内に電極を設置する技術開発を目指した。この構造実現によって、膜の水平方向への電界印加などが可能となり、脂質二分子膜を用いたトランジスタの開発が期待できる。しかし、その基本となる微細孔を有するチップの作製プロセスには問題があり、安定な脂質二分子膜が形成できるチップの作製歩留まりは非常に低く、その一方で歩留まりを向上させたプロセスでチップを作製すると膜形成ができないという課題に直面していた。本研究では膜安定性と高い作製歩留まりを両立したチップ作製プロセスの構築と、そのチップ内への電極形成プロセスの構築、そして作製したチップの評価を行ったので報告する。

## 2. 脂質二分子膜安定性向上のための半導体微細加工プロセスの改良

まず脂質二分子膜の安定性と支持体チップの作製歩留まりを両立したプロセスの構築を行った。先行研究では、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>エッチング前後の SiO<sub>2</sub>エッチングが作製歩留まりおよび膜形成確率に重要なことを見出していた。すなわち、ふっ酸(HF)を SiO<sub>2</sub>エッチャントに用いると、チップ作製歩留まりは低い(10 %未満)が膜形成確率は高く(75%)、バッファードふっ酸(BHF)をエッチャントに用いると、作製歩留まりが高いが(80%以上)、膜形成確率が低くなる(0%)ことが分かっていた。そこで、本章では、HFとBHFを併用し、両者の良さを兼ね備えたプロセスの構築を目指した。具体的には(A) BHF→HF の順番で SiO<sub>2</sub>を削る二段階エッチングプロセスを考案した。その比較として(B) BHF のみでエッチングを行うプロセスと、(C) (B)のチップを再び BHF でエッチングした後にチップ両面を SiO<sub>2</sub>スパッタするプロセスも検討した。また Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>エッチング後の SiO<sub>2</sub>除去工程に関してもエッチング時間を半分にし、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>下面の SiO<sub>2</sub>を残すプロセスに変更した。その結果、いずれのプロセスにおいても80%を超える作製歩留まりが得られた。次にチップ(A)–(C)における膜形成について検討した結果、チップ(A)では80%を超える膜形成確率が観測されたものの、チップ(B), (C)では約60%の膜形成確率であった(表1)。

	(A)二段階	(B)BHF	(C)BHF全剥ぎ
作製歩留り	82 %	87 %	100 %
膜形成確率	85 %	58 %	59 %
膜安定性	75 %	20 %	20 %

表 1. 各チップの作製歩留まりと安定性

次に各チップの微細孔周辺と縁部構造を SEM 観察した(図 1～3)。

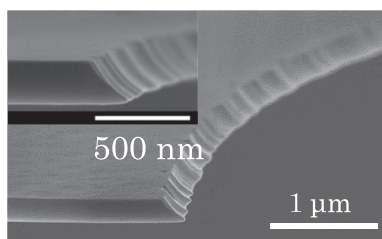


図1. 二段階エッチング後の微細孔断面

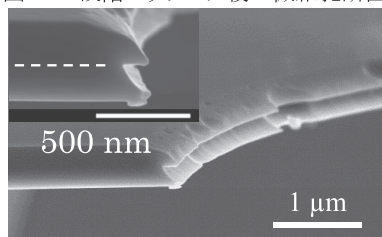


図2. BHF エッチング後の微細孔断面

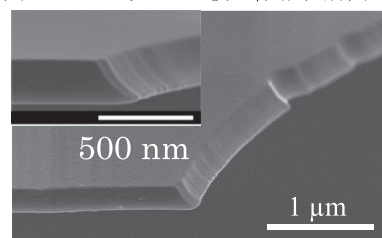


図3. BHF 全剥ぎエッチング後の微細孔断面

その結果、二段階エッチングプロセスのみが微細孔の縁部のナノテーパーと微細孔周辺のマイクロテーパー構造を持っていることが分かった。以上より微細孔縁部のナノテーパーと微細孔周辺のマイクロテーパーを併せ持つ構造によって脂質二分子膜の安定性が著しく向上することが明らかにした。今後は作製歩留まりと膜形成確率を両立させた(A)のプロセスでチップ作製を行うこととした。本論文の成果は Scientific Report 誌にて発表されている<sup>[2]</sup>。

### 3. 電極内蔵型脂質二分子膜支持体チップの作製

第2章で安定したチップの作製が可能になったので、チップ上に横方向電界印加を行うための電極を、マスク蒸着による金属パターン形成プロセスを用いて形成した。

### 4. 電極内蔵型脂質二分子膜支持体チップの評価

作製した電極内蔵型脂質二分子膜支持体チップを以下の観点から評価した。

- 1) 脂質二分子膜の形成が可能かについて
  - 2) 脂質二分子膜への電界印加が可能かについて
- 項目 1 についてはジフィタノイルフォスファチジルコリンを用いた脂質膜の形成を行った結果、微細孔付近に電極が存在しても、膜形成が影響を受けないことが分かった。項目 2 については通常の測定装置を介して電圧を印加するとノイズ電流が極めて大きくなるが、乾電池を用いて自作した電源の場合はノイズを抑制できることが分かった。さらに直流と交流の 2 種の電源を用意して各電圧印加時における脂質二分子膜の電気特性について体系的に評価した。

### 5. まとめ

本研究では脂質二分子膜トランジスタの構築に向けて、まず脂質二分子膜支持体チップの作製歩留まり、膜形成確率を向上させた後、脂質二分子膜の水平方向に電界印加を行うための電極内蔵型脂質二分子膜支持体チップの作製及び評価を行った。今後はチャネル形成物質を包埋した脂質二分子膜に対し電界印加を行うことで特性の変化などを調査していくことにより、脂質二分子膜に基づく水中動作型トランジスタ等の新しい電子デバイスの創成が期待される。

### 文献

- 1) Azusa Oshima, Ayumi Hirano-Iwata\*, Hideki Mozumi, Yutaka Ishinari, Yasuo Kimura, and Michio Niwano., *Anal. Chem.*, 85, 4363 (2013)
- 2) Daisuke Tadaki, Daichi Yamaura, Shun Araki, Miyu Yoshida, Kohei Arata, Takeshi Ohori, Ken-ichi Ishibashi, Miki Kato, Teng Ma, Ryusuke Miyata, Yuzuru Tozawa, Hideaki Yamamoto, Michio Niwano, and Ayumi Hirano-Iwata, *Sci. Rep.*, 7, 17736 (2017).